

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004 年 6 月 24 日 (24.06.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/054082 A1

(51) 国際特許分類: H02N 11/00

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/014975

(22) 国際出願日: 2003 年 11 月 25 日 (25.11.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願 2002-357805  
2002 年 12 月 10 日 (10.12.2002) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ソニー株式会社 (SONY CORPORATION) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 伊東 秀俊 (ITO, Hidetoshi) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北

品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 毛塚 浩一郎 (KEZUKA, Koichiro) [JP/JP]; 〒141-0001 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 中村 友之 (NAKAMURA, Tomoyuki); 〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番3号 虎ノ門第一ビル9階 三好内外国特許事務所内 Tokyo (JP).

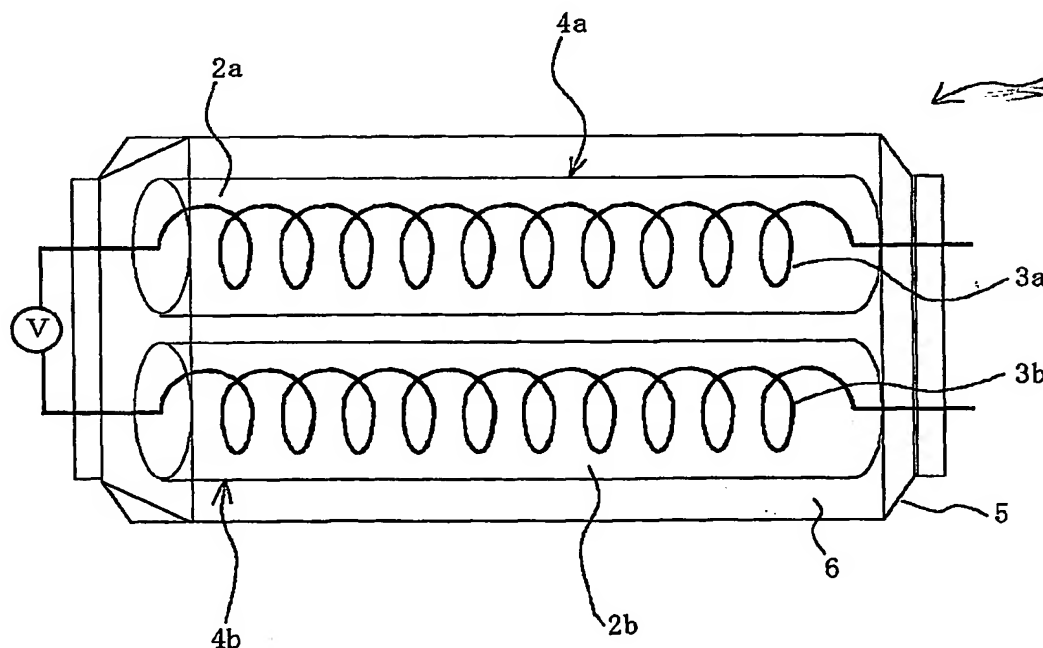
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特

[続葉有]

(54) Title: POLYMER ACTUATOR

(54) 発明の名称: 高分子アクチュエータ



(57) Abstract: A lightweight polymer actuator capable of operating on low voltage and extending/shrinking in its linear direction without any bending displacement. The polymer actuator (1) comprises gel/electrode assemblies (4a, 4b) each having a polymer hydrogel bodies (2a, 2b) containing a polymer having an acidic or basic functional group and an electrode (3a, 3b) incorporated in the polymer hydrogel body (2a, 2b). The gel/electrode assemblies are placed in an electrolytic aqueous solution (6). The volumes of the gel/electrode assemblies (4a, 4b) vary when a voltage is applied between the electrodes (3a, 3b).

[続葉有]



許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約: 湾曲変位することなく、線方向に伸張／収縮することができ、軽量でありかつ低電圧動作が可能な高分子アクチュエータを提供すること。酸性若しくは塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ハイドロゲル(2a、2b)と、この高分子ハイドロゲル(2a、2b)に内設された電極(3a、3b)とから構成されるゲル／電極複合体(4a、4b)が電解質水溶液(6)中に配設され、ゲル／電極複合体(4a、4b)の電極(3a、3b)間に電圧が印加されるに伴ってゲル／電極複合体(4a、4b)がそれぞれ体積変化を起こすように構成された、高分子アクチュエータ(1)。

## 明 細 書

## 高分子アクチュエータ

5

## 技術分野

本発明は、高分子アクチュエータに関するものである。

## 背景技術

10 近年、介護支援、危険作業、エンタテインメント等の様々な方面からロボットが注目されている。これらの用途に適用されるロボットは、動物のように多くの関節（可動部）を有し、複雑な動作を可能とすることが求められる。

この可動部を駆動するアクチュエータとして、従来から磁気回転モーターが用いられているが、構成材料が金属のためにアクチュエータ重量  
15 が大きいという欠点がある。可動部にアクチュエータを組み込む場合、可動部を動作させる際にアクチュエータ重量が負荷となる。このため、重量の大きいアクチュエータを用いるには大出力が求められ、大出力のアクチュエータは大型、大重量となってしまうという解決困難な矛盾が生じる。また、磁気回転モーターを用いる場合、必要な回転数、トルク  
20 に調整するための減速器が必要となり、この減速器に用いられるギヤは磨耗により徐々に性能低下するという欠点もある。低速回転で高トルクが得られる超音波モーターは減速器が不要だが、これも金属材料で構成されるために重量が大きい。

25 このため、近年では、軽量でありかつ柔軟性に富んだ高分子材料によって構成される高分子アクチュエータが注目されている。この高分子ア

クチュエータとしては、例えばポリフッ化ビニリデン等を用いた高分子圧電素子、電子導電性高分子等を用いた導電性高分子アクチュエータ、高分子ゲル等を用いたゲルアクチュエータ等が知られている。

上記のゲルアクチュエータ、特に水膨張高分子ゲルを用いる高分子ハイドロゲルアクチュエータは、高分子ハイドロゲルが周囲の温度、イオン強度、pHといった環境に応答して体積変化することを利用するものである。その変位量は30～50%と大きく、発生力も0.2～0.4 MPaであり、生体骨格筋に匹敵する性能を発揮する。しかしながら、温度は加熱、冷却ともに高速制御が困難であり、またイオン強度やpHは周囲電解液をポンプ等を用いて強制交換しなければならず、これに用いる電解液を蓄えるタンクも必要となることから、小型軽量なシステムとして不向きである。

一方、pH応答性高分子ハイドロゲルは、ゲルを構成する高分子内に酸性或いは塩基性の官能基を有しており、ゲル周囲における水溶液のpHによって膨張度、ゲル体積が変化するものである。例えば、酸性基を有するpH応答性高分子ハイドロゲルを用いる場合、ゲル周囲における電解質水溶液のpHが高いときには、ゲル中の酸性基がプロトンを解離してアニオンとなり、親水性が増すと共に負電荷の分子内或いは分子間での反発が働き、ゲルは膨張する。逆に、ゲル周囲における電解質水溶液のpHが低いときには、ゲル中の酸性基は解離せず、さらに酸性基同士で水素結合を形成するなどしてゲルは収縮する。

ここで、上記の酸性基を有するpH応答性高分子ハイドロゲルに代えて、塩基性基を有するpH応答性高分子ハイドロゲルを用いる場合は、上記の反応とは逆に、ゲル周囲における電解質水溶液のpHが高いときには、ゲル中の塩基性基がプロトン化してカチオンとなり、親水性が増すと共に正電荷の分子内或いは分子間での反発が働き、ゲルは膨張する。

上記のようにして、pH応答性高分子ハイドロゲルを用いる場合、電解質水溶液中に電極を配設して1～3V程度の電圧を印加すると、電解質水溶液中にイオン濃度勾配が形成され、電極近傍のpHを変化させることが可能である。この現象を利用することにより、加熱冷却装置、ポンプ、タンク等を必要とせずに、pH応答性高分子ハイドロゲルの膨張／収縮を、1～3Vといった低い電圧で制御することが可能となる。

実際には、図5に示すように、電解質水溶液11が充填された容器10中に2枚の電極12a及び12bを配設し、この電極12a、12b間に酸性基を有する高分子からなるpH応答性高分子ハイドロゲル13を設置し、電極12a、12b間に電圧を印加すると、陽極である電極12b周辺の電解質水溶液11のpHが上昇することによって陽極である電極12b側のゲル13が膨張する。これと同時に、陰極となる電極12a周辺の電解質水溶液11のpHが低下することによって陰極となる電極12a側のゲル13が収縮する。従って、結果として図5に示すように、ゲル13は湾曲変形する。なお、塩基性基を有する高分子からなるpH応答性高分子ハイドロゲルでは、上記と逆向きに湾曲変形する。

この変形を利用してアクチュエータとすることも可能であり、pH応答性高分子ハイドロゲル膜の両面に電極を配置し、これら電極間に電圧を印加することで電気化学的に湾曲変位を得るアクチュエータも知られている（例えば、特公平7-97912号公報参照。）。なお、この湾曲変位アクチュエータの長さ方向変位発生力は、例えば約0.01MPa程度である。

しかしながら、湾曲変位するアクチュエータは、生体骨格筋のように線方向に伸張／収縮するものに比べてロボットの関節等に利用することが難しく、また湾曲変形から得られる発生力は一般に弱い。

さらに、電極間隔を広げてゲルをいずれか一方の電極に近づけること

で、もう一方の電極による影響を避け、ゲルを湾曲させずに膨張（伸張）／収縮させることも可能であるが、ゲルの膨張／収縮を妨げずにゲルを電極近傍に固定することも非常に困難である。

5 本発明は、上述したような問題点を解決するためになされたものである。本発明は、その目的は、湾曲変位することなく、線方向に伸張／収縮することができ、軽量でありかつ低電圧動作が可能な高分子アクチュエータを提供することにある。

#### 発明の開示

10 即ち、本発明は、酸性若しくは塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルと、この高分子ゲルに内設された電極とから構成されるゲル／電極複合体の複数個が電解質溶液中に配設され、前記複数のゲル／電極複合体の前記電極間に電圧が印加されるに伴って前記複数のゲル／電極複合体がそれぞれ体積変化を起こすように構成された、高分子ア  
15 クチュエータに係るものである。

本発明によれば、前記複数のゲル／電極複合体が前記電解質溶液中に配設され、前記複数のゲル／電極複合体の前記電極間に電圧が印加されるに伴って前記複数のゲル／電極複合体がそれぞれ体積変化を起こすように構成されているので、上記したような従来の加熱冷却装置、ポンプ、  
20 タンク等を必要とせず、軽量化を図ることができ、また、例えば1～3Vといった低い電圧で制御することが可能である。

また、前記複数のゲル／電極複合体が、酸性若しくは塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルと、この高分子ゲルに内設された電極とから構成されているので、従来のように湾曲変位することなく、  
25 例えば生体骨格筋のように線方向に伸張／収縮することができる。

従って、前記複数のゲル／電極複合体の前記体積変化によって得られ

る発生力の向上を図ることができ、例えばロボットの関節（可動部）等に好適に利用することができる。

#### 図面の簡単な説明

5 図 1 は、本発明の実施の形態による高分子アクチュエータの一構成例の概略斜視図である。

図 2 A 及び図 2 B は、本発明の実施の形態による高分子アクチュエータの概略断面図である。また、図 2 A は膨張（伸張）状態、図 2 B は収縮状態を示す図である。

10 図 3 A 及び図 3 B は、本発明の実施の形態による高分子アクチュエータを構成するゲル／電極複合体の一例の概略斜視図である。また、図 3 A は膨張（伸張）状態、図 3 B は収縮状態を示す図である。

図 4 A 及び図 4 B は、本発明の実施の形態による高分子アクチュエータを構成するゲル／電極複合体の他の例の概略斜視図である。また、図 15 4 A は膨張（伸張）状態、図 4 B は収縮状態を示す図である。

図 5 は、従来例による高分子アクチュエータの概略断面図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明において、前記高分子ゲルが高分子ハイドロゲルからなり、前記電解質溶液が電解質水溶液からなることが好ましい。

また、本発明に基づく高分子アクチュエータは、酸性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなる前記ゲル／電極複合体と、塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなる前記ゲル／電極複合体とを各々 1 個以上有することが好ましい。

25 図 1 は、本発明に基づく高分子アクチュエータ 1 の一構成例の概略斜視図である。また、図 2 A 及び図 2 B は、図 1 の本発明に基づく高分子

アクチュエータ 1 の概略断面図である。

図 1、図 2 A 及び図 2 B に示すように、本発明に基づく高分子アクチュエータ 1 は、酸性の官能基を有する高分子を含有した高分子ハイドロゲル 2 a と、この高分子ハイドロゲル 2 a に内設された電極 3 a とからなる、ゲル／電極複合体（以下、酸性ゲル／電極複合体と称する場合がある。） 4 a と；塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ハイドロゲル 2 b と、この高分子ハイドロゲル 2 b に内設された電極 3 b とからなる、ゲル／電極複合体（以下、塩基性ゲル／電極複合体と称する場合がある。） 4 b と；を有することが好ましい。

また、ゲル／電極複合体 4 a 及び 4 b が、容器 5 内に配設されており、その両端から電極 3 a、3 b が取り出され、容器 5 内には電解質水溶液 6 が充填されている。なお、ゲル／電極複合体 4 a 及び 4 b がほぼ平行に配設されている。ここで、容器 5 は、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の前記体積変化に追随する伸縮性を有することが望ましい。

そして、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の電極 3 a、3 b 間に電圧が印加されるに伴って、ゲル／電極複合体 4 a、4 b 周辺における電解質水溶液 6 の pH が変化し、この pH 変化に応じてゲル／電極複合体 4 a、4 b の前記体積変化が起こる。

即ち、酸性ゲル／電極複合体 4 a における電極 3 a を陰極、塩基性ゲル／電極複合体 4 b における電極 3 b を陽極として 1 ～ 3 V の電圧を印加すると、陰極である電極 3 a 周辺における電解質水溶液 6 の pH は低下する。pH が低下した場合、酸性ゲル／電極複合体 4 a 中の酸性基は解離せず、さらに酸性基同士で水素結合を形成するなどして、酸性ゲル／電極複合体 4 a は収縮する。一方、1 ～ 3 V の電圧を印加すると、陽極である電極 3 b 周辺における電解質水溶液 6 の pH は上昇する。pH が上昇した場合、塩基性ゲル／電極複合体 4 b 中の塩基性基はプロトン



化せず、さらに塩基性基同士で水素結合を形成するなどして、塩基性ゲル／電極複合体 4 b は収縮する（図 2 B）。

また、電圧印加をやめるか、或いは上記とは逆向きの電圧を印加すれば、酸性ゲル／電極複合体 4 a 周辺における電解質水溶液 6 の pH は上昇する。pH が上昇した場合、酸性ゲル／電極複合体 4 a 中の酸性基がプロトンを解離してアニオンとなり、親水性が増すと共に、負電荷の分子内或いは分子間での反発が働き、酸性ゲル／電極複合体 4 a は膨張する。一方、塩基性ゲル／電極複合体 4 b 周辺における電解質水溶液 6 の pH は低下する。pH が低下した場合、塩基性ゲル／電極複合体 4 b 中の塩基性基がプロトン化してカチオンとなり、親水性が増すと共に、正電荷の分子内或いは分子間での反発が働き、塩基性ゲル／電極複合体 4 b は膨張する（図 2 A）。

本発明に基づく高分子アクチュエータ 1 によれば、ゲル／電極複合体 4 a、4 b が電解質水溶液 6 中に配設され、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の電極 3 a、3 b 間に電圧が印加されるに伴って、上述したように、ゲル／電極複合体 4 a、4 b がそれぞれ体積変化を起こすように構成されているので、加熱冷却装置、ポンプ、タンク等を必要とせず、軽量化を図ることができ、また、例えば 1 ～ 3 V といった低い電圧で制御することができる。

また、ゲル／電極複合体 4 a、4 b が、酸性若しくは塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ハイドロゲル 2 a、2 b と、この高分子ハイドロゲル 2 a、2 b に内設された電極 3 a、3 b とから構成されるので、どちらのゲル／電極複合体 4 a、4 b も電圧に対して同方向に膨張／収縮することができ、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の形状が図示するように棒状であっても、従来のように湾曲変位することなく、長さ方向の伸張／収縮変位（線方向変位）を両方のゲル／電極複合体 4 a、

4 b から取り出すことが可能となる。

さらに、ゲル／電極複合体 4 a、4 b が前記体積変化を起こしても、高分子ハイドロゲル 2 a、2 b が電極 3 a、3 b から離れることがないので、効率的に周囲の pH 変化をゲル／電極複合体 4 a、4 b に伝えることができる。より一層効果的な伸張／収縮を行うことができる。

従って、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の前記体積変化によって得られる発生力をより一層向上させることができ、例えばロボットの関節（可動部）等に好適に利用することができる。

本発明に基づく高分子アクチュエータ 1 において、ゲル／電極複合体 4 a、4 b を構成する電極 3 a、3 b は、高分子ハイドロゲル 2 a、2 b の前記体積変化を阻害せず追従する電子導電体であることが望ましく、例えば図 1 ～図 3 B に示すような、コイル状の金属線であることが好ましい。この場合、弾性変形によってゲル／電極複合体 4 a、4 b の前記体積変化に追従することができる。ここで、前記体積変化を阻害しないためには、前記コイルを形成する金属線は細くしなやかであるほど、より好適である。

また、電極 3 a、3 b を構成する材料は、電圧を印加した際に酸化或いは還元されて溶出や不動態化しないことが重要であり、金、白金、パラジウム、非晶質炭素、黒鉛のうちの少なくとも 1 種が好適に用いられ、これらの中でも軽量の非晶質炭素、黒鉛がより好ましい。

電解質水溶液 6 は、公知の水溶性電解質を溶解した水溶液を使用することができる。電解質濃度が高ければイオン導電率が高くなり、高速に pH 変化を誘起できるが、浸透圧差によって高分子ハイドロゲル 2 a、2 b から電解質水溶液 6 へと水が奪われることがあるため、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の膨張が阻害されることがある。電解質濃度が低ければゲル／電極複合体 4 a、4 b の膨張は阻害されないが、高速な応答が

得られなくなることがある。従って、電解質濃度は  $0.01 \sim 0.5 \text{ mol/dm}^3$  であることが好ましい。

容器 5 は、電解質水溶液 6 を蓄える容器であり、またゲル／電極複合体 4 a、4 b の変位を力学的仕事として取り出す端子として機能するものである。容器 5 の形状、材料は多様だが、電解質水溶液 6 を密閉することができ、かつゲル／電極複合体 4 a、4 b の変位を阻害しない柔軟性を有していることが求められる。例えば、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、フッ素樹脂等の高分子材料フィルムからなる袋状容器が好適である。

10      ゲル／電極複合体 4 a、4 b の電極 3 a、3 b と電氣的に接合された電極端子 7 は、容器 5 の密閉性を損なわない状態で容器 5 の外部に露呈する。容器 5 がゲル／電極複合体 4 a、4 b の前記体積変化に追随する伸縮性を有する場合、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の端部を容器 5 に固定することにより、ゲル／電極複合体 4 a、4 b の変位に伴って容器 5  
15      も変形することができる。従って、例えば容器端部 5' を動作させたい機器可動部（図示省略）に取り付けることで、力学的仕事を行うことができる。また、このゲル／電極複合体 4 a、4 b の容器 5 への固定する端部を上述の電極端子とすることもできる。

さらに、容器 5 が上記のような伸縮性を有さなくても、例えば容器端  
20      部 5' を容器 5 本体には固定せず、容器 5 本体の壁面に沿ってスライド可能な構造とすれば、容器 5 がゲル／電極複合体 4 a、4 b の前記体積変化を阻害することはない。

本発明に基づく高分子アクチュエータにおいて、前記複数のゲル／電極複合体を構成する前記高分子ゲルが、酸性の官能基と塩基性の官能基  
25      とを有する高分子を含有していてもよい。この場合、前記ゲル／電極複合体周辺における前記電解質溶液の pH が低いときには塩基性基のカチ

オン化によって膨張し、 $pH$ が高いときにも酸性基のアニオン化によって膨張するが、中性付近ではイオン化した両官能基がイオン結合により錯体（イオンコンプレックス）形成するため、収縮する。

この現象は、前記複数のゲル／電極複合体を構成する前記高分子ゲル  
5 が、酸性の官能基を有する高分子と、塩基性の官能基を有する高分子との混合物を含有する場合でも同様に観測される。

このようなゲル／電極複合体を適用すれば、中性電解液中で電極電位を卑、貴のどちらに動かしてもゲルは膨張し、平衡電位に戻すことで収縮する。従って、陰極用、陽極用の２種類のゲルを用いる必要がなく、  
10 同一構成のゲル／電極複合体の電極間に電圧を印加することで、線方向変位を前記複数のゲル／電極複合体から取り出すことが可能となる。

上記に前記複数のゲル／電極複合体を構成する電極として、コイル状の金属線を例示したが、前記電極は、前記高分子ゲルの前記体積変化を阻害せず追従する電子導電体であればよく、この他にも例えば図４Ａ及び図４Ｂに示すような、金属網であってもよい。前記金属網を用いた場合  
15 も上記した前記コイル状の金属線と同様にして、弾性変形によって前記高分子ゲルの前記体積変化に追従することができるが、網を形成する金属線が細くしなやかであるほど、より一層好適である。

また、前記複数のゲル／電極複合体を構成する前記電極が、前記高分子ゲル内に混合、分散される電子導電性を有する粒子状又は繊維状の物質  
20 であってもよい。この場合、前記高分子ゲルの前記体積変化をより一層妨げることなく、効果的に $pH$ 変化を誘起することができる。

さらに、前記複数のゲル／電極複合体を構成する前記電極として、前記コイル状の金属線又は前記金属網と、前記電子導電性粒子状物質又は  
25 前記電子導電性繊維状物質とを併用すれば、前記複数のゲル／電極複合体全体に、より一層速やかに $pH$ 変化が誘起されるため、アクチュエー

タとしてより一層高速な応答を得ることができる。

また、前記電極を構成する材料は、電圧を印加した際に酸化或いは還元されて溶出や不動体化しないことが重要であり、例えば金、白金、パラジウム、非晶質炭素、黒鉛のうちの少なくとも1種を用いることが好ましく、これらの中でも軽量な非晶質炭素、黒鉛がより好ましい。

前記複数のゲル／電極複合体を構成する前記高分子ゲルに用いることのできる酸性若しくは塩基性の官能基を有する高分子は、酸性ではカルボン酸、スルホン酸等の官能基、塩基性では1級アミン、2級アミン、3級アミン等の官能基を有する高分子を挙げることができる。

10 具体的には、酸性では、ポリアクリル酸、ポリメタクリル酸、ポリビニル酢酸、ポリマレイン酸、ポリビニルスルホン酸、ポリスチレンスルホン酸等を挙げることができる。

塩基性では、ポリエチレンイミン、ポリアリルアミン、ポリビニルピリジン、ポリリジン、ポリビニルアニリン、ポリビニルイミダゾール、  
15 ポリ（アミノエチルアクリレート）、ポリ（メチルアミノエチルアクリレート）、ポリ（ジメチルアミノエチルアクリレート）、ポリ（エチルアミノエチルアクリレート）、ポリ（エチルメチルアミノエチルアクリレート）、ポリ（ジエチルアミノエチルアクリレート）、ポリ（アミノエチルメタクリレート）、ポリ（メチルアミノエチルメタクリレート）、  
20 ポリ（ジメチルアミノエチルメタクリレート）、ポリ（エチルアミノエチルメタクリレート）、ポリ（エチルメチルアミノエチルメタクリレート）、ポリ（ジエチルアミノエチルメタクリレート）、ポリ（アミノプロピルアクリレート）、ポリ（メチルアミノプロピルアクリレート）、  
ポリ（ジメチルアミノプロピルアクリレート）、ポリ（エチルアミノプロピルアクリレート）、  
25 ポリ（エチルメチルアミノプロピルアクリレート）、ポリ（ジエチルアミノプロピルアクリレート）、ポリ（アミノブ

ロピルメタクリレート)、ポリ(メチルアミノプロピルメタクリレート)、  
ポリ(ジメチルアミノプロピルメタクリレート)、ポリ(エチルアミノ  
プロピルメタクリレート)、ポリ(エチルメチルアミノプロピルメタク  
リレート)、ポリ(ジエチルアミノプロピルメタクリレート)等を挙げ  
5 ることができる。

また、必要に応じて、これらに分子内或いは分子間で架橋を施した高  
分子、これらのモノマーと他のモノマーとの共重合体、他の高分子との  
混合物を使用することができる。

前記複数のゲル／電極複合体は、2個以上の複数個であればその個数  
10 に制約なく使用することができる。但し、前記複数のゲル／電極複合体  
として、酸性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなる前  
記ゲル／電極複合体と、塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分  
子ゲルからなる前記ゲル／電極複合体とを用いる場合には、前者の酸性  
ゲル／電極複合体を陰極、後者の塩基性ゲル／電極複合体を陽極として  
15 電圧を印加するため、両者が同数であることがより好ましい。

また、前記複数のゲル／電極複合体を構成する前記高分子ゲルが、酸  
性の官能基と塩基性の官能基とを有する高分子を含有する場合、及び、  
前記ゲル／電極複合体を構成する前記高分子ゲルが、酸性の官能基を有  
する高分子と、塩基性の官能基を有する高分子との混合物を含有する場  
20 合にも、上記と同様にして半数の電極を陰極、残りの電極を陽極として  
電圧を印加するため、前記複数のゲル／電極複合体の総数は偶数個であ  
ることがより好ましい。

#### <実施例>

以下、本発明に基づく高分子アクチュエータを実際に作製し、動作さ  
25 せた実施例について説明する。

#### 実施例 1

前記複数のゲル／電極複合体に用いる前記高分子ハイドロゲルは、モノマー、架橋剤及び開始剤を水溶混合し、ラジカル重合することによって作製した。

5 酸性の官能基を有する高分子のモノマーとしてアクリル酸、架橋剤としてN, N' -メチレンビスアクリルアミド、開始剤として過硫酸アンモニウムを用い、m o l 比でモノマー：架橋剤：開始剤を1 0 0 : 3 : 1 として水溶混合してゲル前駆体溶液とした。

10 電極には直径1 0 μ mの白金線からなる直径1 m mのコイルを用い、これを内径1 . 5 m m、長さ3 0 m mのガラス管内に挿入し、コイルの軸とガラス管の軸とが一致するように固定した。

このガラス管に上記のゲル前駆体溶液を注入し、ガラス管両端をゴム栓にて封じて5 0 ℃に加温することにより、ゲル前駆体溶液のゲル化を行った。ゲル化後、ガラス管の一端を加圧して他端から取り出すことにより、酸性ゲル／電極複合体（酸性の官能基を有する高分子を含有した  
15 高分子ゲルからなるゲル／電極複合体）を得た。

また、塩基性の官能基を有する高分子のモノマーとしてジメチルアミノメチルメタクリレート、架橋剤としてN, N' -メチレンビスアクリルアミド、開始剤として過硫酸アンモニウムを用い、m o l 比でモノマー：架橋剤：開始剤を1 0 0 : 3 : 1 として水溶混合してゲル前駆体溶液  
20 とした。このゲル前駆体溶液を用い、上記の酸性ゲル／電極複合体と同様の方法によって塩基性ゲル／電極複合体（塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなるゲル／電極複合体）を得た。

次に、上記に得られた酸性ゲル／電極複合体及び塩基性ゲル／電極複合体を0 . 1 NのN a C l 水溶液に2 4 時間浸漬した後、長さ5 0 m m、  
25 直径6 m mの円筒状ポリエチレンフィルムに収納し、円筒状ポリエチレンフィルムの片側開口部を熱融着により封じた。もう一方の開口部から

は 0.1 N の NaCl 水溶液を注入し、熱融着にて封じた。この熱融着の際に、ゲル／電極複合体の両端から露呈したコイルを挟み込んで熱融着して固定し、これを電極端子とした。このようにして、図 1、図 2 A 及び図 2 B に示すような高分子アクチュエータを作製した。

- 5 上記に作製した高分子アクチュエータにおいて、酸性ゲル／電極複合体の電極端子を陰極、塩基性ゲル／電極複合体の電極端子を陽極として 3 V の電圧を印加したところ、両極のゲル／電極複合体が共に収縮し、これに伴って高分子アクチュエータ両端の熱融着部間距離が 45 mm から 25 mm へと変化した。この変化に要した時間は 45 秒であった。また、長さ方向変位発生力は約 0.3 MPa であった。
- 10

#### 実施例 2

前記複数のゲル／電極複合体に用いる前記高分子ハイドロゲルは、モノマー、架橋剤及び開始剤を水溶混合し、ラジカル重合することによって作製した。

- 15 酸性の官能基を有する高分子のモノマーとしてアクリル酸、塩基性を示す官能基を有する高分子のモノマーとしてジメチルアミノメチルメタクリレート、架橋剤として N, N' -メチレンビスアクリルアミド、開始剤として過硫酸アンモニウムを用い、m o l 比で酸性モノマー：塩基性モノマー：架橋剤：開始剤を 50 : 50 : 3 : 1 として水溶混合してゲル前駆体溶液とした。
- 20

電極には直径 10  $\mu$  m の白金線からなる直径 1 mm のコイルを用い、これを内径 1.5 mm、長さ 30 mm のガラス管内に挿入し、コイルの軸とガラス管の軸とが一致するように固定した。

- このガラス管に上記のゲル前駆体溶液を注入し、ガラス管両端をゴム栓にて封じて 50  $^{\circ}$ C に加温することにより、ゲル前駆体溶液のゲル化を行った。ゲル化後、ガラス管の一端を加圧して他端から取り出すことに
- 25



より、両性ゲル／電極複合体（酸性の官能基と塩基性の官能基とを有する高分子を含有する高分子ゲルからなるゲル／電極複合体）を得た。

次に、上記に得られた両性ゲル／電極複合体 2 本を 0.1 N の NaCl 水溶液に 24 時間浸漬した後、長さ 50 mm、直径 6 mm の円筒状ポリエチレンフィルムに収納し、円筒状ポリエチレンフィルムの片側開口部を熱融着により封じた。もう一方の開口部からは 0.1 N の NaCl 水溶液を注入し、熱融着にて封じた。この熱融着の際に、ゲル／電極複合体の両端から露呈したコイルを挟み込んで熱融着して固定し、これを電極端子とした。このようにして、図 1、図 2 A 及び図 2 B に示すような高分子アクチュエータを作製した。

上記に作製した高分子アクチュエータにおいて、一方のゲル／電極複合体の電極端子を陰極、他方のゲル／電極複合体の電極端子を陽極として 3 V の電圧を印加したところ、両極のゲル／電極複合体が共に膨張し、これに伴って高分子アクチュエータ両端の熱融着部間距離が 30 mm から 45 mm へと変化した。この変化に要した時間は 44 秒であった。また、長さ方向変位発生力は約 0.3 MPa であった。

### 実施例 3

前記複数のゲル／電極複合体に用いる前記高分子ハイドロゲルは、モノマー、架橋剤、開始剤及び高分子を水溶混合し、ラジカル重合することによって作製した。

塩基性の官能基を有する高分子のモノマーとしてジメチルアミノメチルメタクリレート、酸性の官能基を有する高分子としてポリアクリル酸、架橋剤として N, N' -メチレンビスアクリルアミド、開始剤として過硫酸アンモニウムを用い、mol 比（ポリアクリル酸は繰り返し単位 mol 1）で塩基性モノマー：酸性高分子：架橋剤：開始剤を 50 : 50 : 3 : 1 として水溶混合してゲル前駆体溶液とした。

電極には直径 10  $\mu$ m の白金線からなる直径 1 mm のコイルを用い、これを内径 1.5 mm、長さ 30 mm のガラス管内に挿入し、コイルの軸とガラス管の軸とが一致するように固定した。

このガラス管に上記のゲル前駆体溶液を注入し、ガラス管両端をゴム栓にて封じて 50  $^{\circ}$ C に加温することにより、ゲル前駆体溶液のゲル化を行った。ゲル化後、ガラス管の一端を加圧して他端から取り出すことにより、酸性塩基性混合ゲル／電極複合体（酸性の官能基を有する高分子と、塩基性の官能基を有する高分子との混合物を含有する高分子ゲルからなるゲル／電極複合体）を得た。

次に、上記に得られた酸性塩基性混合ゲル／電極複合体 2 本を 0.1 N の NaCl 水溶液に 24 時間浸漬した後、長さ 50 mm、直径 6 mm の円筒状ポリエチレンフィルムに収納し、円筒状ポリエチレンフィルムの片側開口部を熱融着により封じた。もう一方の開口部からは 0.1 N の NaCl 水溶液を注入し、熱融着にて封じた。この熱融着の際に、ゲル／電極複合体の両端から露呈したコイルを挟み込んで熱融着して固定し、これを電極端子とした。このようにして、図 1、図 2 A 及び図 2 B に示すような高分子アクチュエータを作製した。

上記に作製した高分子アクチュエータにおいて、一方のゲル／電極複合体の電極端子を陰極、他方のゲル／電極複合体の電極端子を陽極として 3 V の電圧を印加したところ、両極のゲル／電極複合体が共に膨張し、これに伴って高分子アクチュエータ両端の熱融着部間距離が 30 mm から 45 mm へと変化した。この変化に要した時間は 44 秒であった。また、長さ方向変位発生力は約 0.3 MPa であった。

#### 実施例 4

モノマーの重量の 5 重量%に相当する炭素繊維を粉碎した炭素繊維粉をゲル前駆体溶液に加えたこと以外は、実施例 1 と同様にして高分子ア

クチュエータを作製した。

- 酸性ゲル／電極複合体の電極端子を陰極、塩基性ゲル／電極複合体の電極端子を陽極として 3 V の電圧を印加したところ、両極のゲル／電極複合体が共に収縮し、これに伴って高分子アクチュエータ両端の熱融着部間距離が 4.5 mm から 3.1 mm へと変化した。この変化に要した時間は 2.1 秒であった。また、長さ方向変位発生力は約 0.3 MPa であった。

#### 産業上の利用可能性

- 10 本発明によれば、前記複数のゲル／電極複合体が前記電解質溶液中に配設され、前記複数のゲル／電極複合体の前記電極間に電圧が印加されるに伴って前記複数のゲル／電極複合体がそれぞれ体積変化を起こすように構成されているので、上記したような従来の加熱冷却装置、ポンプ、タンク等を必要とせず、軽量化を図ることができ、また、例えば 1 ～ 3 V といった低い電圧で制御することが可能である。

また、前記複数のゲル／電極複合体が、酸性若しくは塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルと、この高分子ゲルに内設された電極とから構成されているので、従来のように湾曲変位することなく、例えば生体骨格筋のように線方向に伸張／収縮することができる。

- 20 従って、前記複数のゲル／電極複合体の前記体積変化によって得られる発生力の向上を図ることができ、例えばロボットの関節（可動部）等に好適に利用することができる。

## 請 求 の 範 囲

1. 酸性若しくは塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルと、この高分子ゲルに内設された電極とから構成されるゲル／電極複合体の複数個が電解質溶液中に配設され、前記複数のゲル／電極複合体の前記電極間に電圧が印加されるに伴って前記複数のゲル／電極複合体がそれぞれ体積変化を起こすように構成された、高分子アクチュエータ。
2. 前記電極間に電圧が印加されるに伴って、前記複数のゲル／電極複合体周辺における前記電解質溶液のpHが変化し、このpH変化に応じて前記複数のゲル／電極複合体の前記体積変化が起こる、請求項1に記載した高分子アクチュエータ。
3. 酸性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなる前記ゲル／電極複合体と、塩基性の官能基を有する高分子を含有した高分子ゲルからなる前記ゲル／電極複合体とを各々1個以上有する、請求項1に記載した高分子アクチュエータ。
4. 前記ゲル／電極複合体を構成する前記高分子ゲルが、酸性の官能基と塩基性の官能基とを有する高分子を含有する、請求項1に記載した高分子アクチュエータ。
5. 前記ゲル／電極複合体を構成する前記高分子ゲルが、酸性の官能基を有する高分子と、塩基性の官能基を有する高分子との混合物を含有する、請求項1に記載した高分子アクチュエータ。
6. 前記複数のゲル／電極複合体がほぼ平行に配設されている、請求項1に記載した高分子アクチュエータ。
7. 前記複数のゲル／電極複合体が、容器内に配設されてその両端から前記電極が取り出され、前記容器内には前記電解質溶液が充填されている、請求項1に記載した高分子アクチュエータ。

8. 前記容器が前記複数のゲル／電極複合体の前記体積変化に追随する伸縮性を有している、請求項7に記載した高分子アクチュエータ。

9. 前記高分子ゲルが高分子ハイドロゲルからなり、前記電解質溶液が電解質水溶液からなる、請求項1に記載した高分子アクチュエータ。

5 10. 前記ゲル／電極複合体を構成する前記電極が、コイル状の金属線又は金属網である、請求項1に記載した高分子アクチュエータ。

11. 前記ゲル／電極複合体を構成する前記電極が、前記高分子ゲル内に混合、分散される電子導電性を有する粒子状又は繊維状の物質である、請求項1に記載した高分子アクチュエータ。

10 12. 前記ゲル／電極複合体を構成する前記電極が、前記コイル状の金属線又は前記金属網と、前記電子導電性粒子状物質又は前記電子導電性繊維状物質とからなる、請求項1に記載した高分子アクチュエータ。

13. 前記電極が金、白金、パラジウム、非晶質炭素、黒鉛のうちの少なくとも1種からなる、請求項1に記載した高分子アクチュエータ。

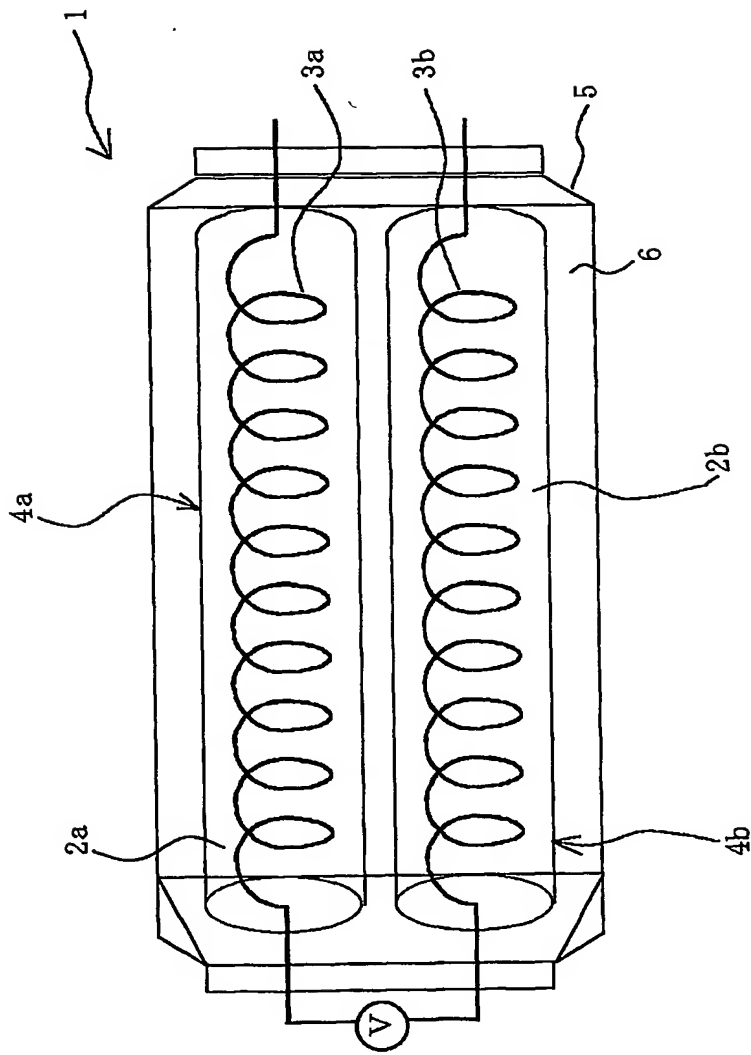


Fig.1

Fig.2A

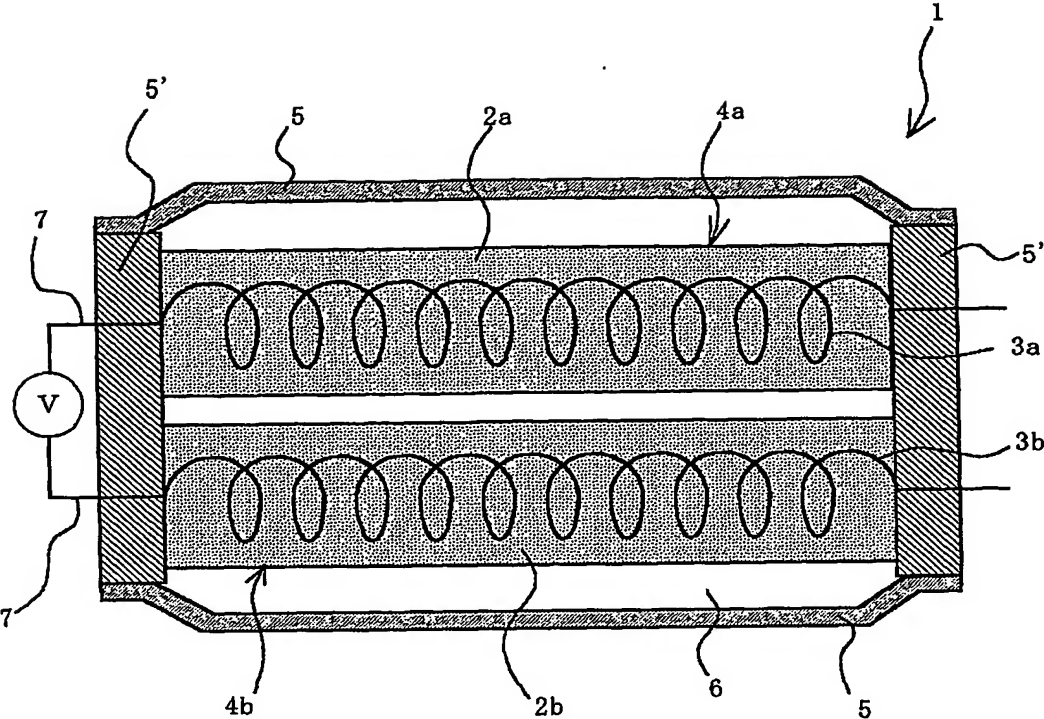
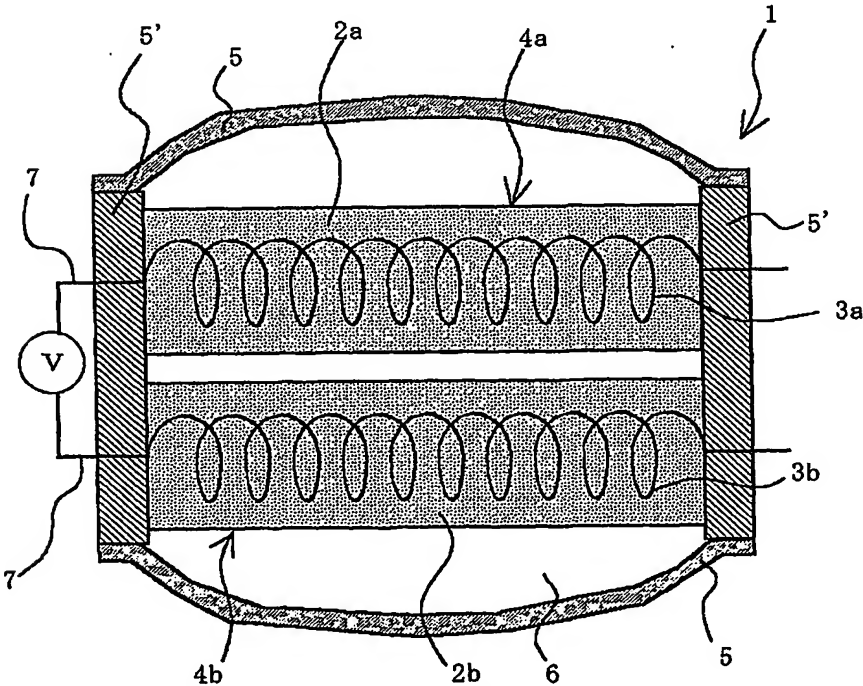


Fig.2B



3/4

Fig.3A

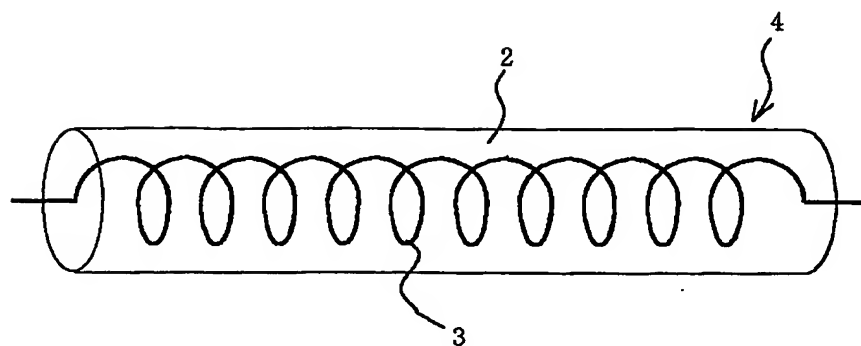


Fig.3B

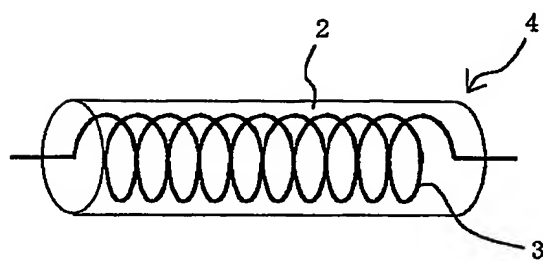


Fig.4A

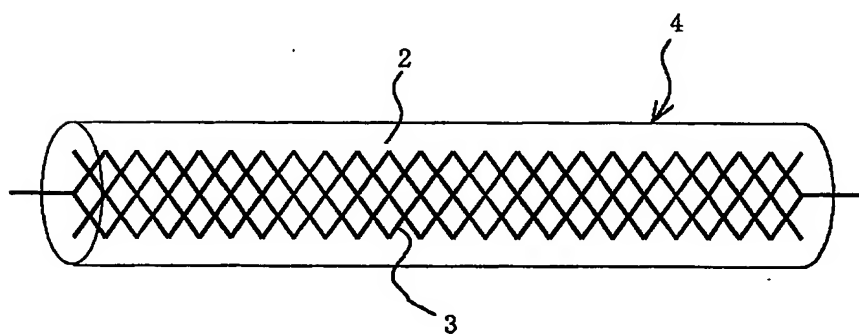
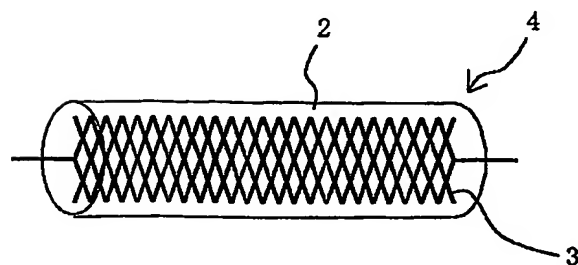


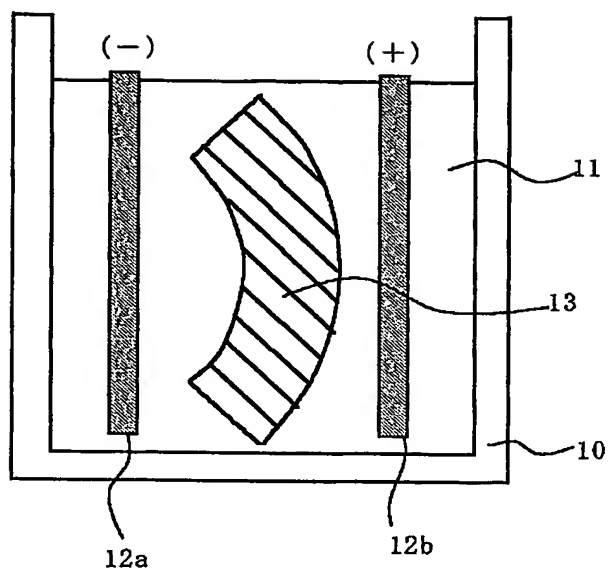
Fig.4B





4/4

Fig.5



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/14975

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
Int.Cl<sup>7</sup> H02N11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> H02N11/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-258001 A (Fuji Xerox Co., Ltd.), 11 September, 2002 (11.09.02), Page 2, right column, line 38 to page 3, left column, line 5 (Family: none)	1-10, 13
Y	JP 5-76599 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 30 March, 1993 (30.03.93), Figs. 5 to 6 (Family: none)	6, 7, 10
Y	JP 2-41685 A (Toyota Central Research And Development Laboratories, Inc.), 09 February, 1990 (09.02.90), Figs. 3 to 4 (Family: none)	6, 7

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 17 February, 2004 (17.02.04)	Date of mailing of the international search report 02 March, 2004 (02.03.04)
---	---

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP03/14975

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-118874 A (Okuma Corp.), 12 May, 1998 (12.05.98), Figs. 1 to 2 (Family: none)	6

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H02N11/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H02N11/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996  
 日本国公開実用新案公報 1971-2003  
 日本国実用新案登録公報 1996-2003  
 日本国登録実用新案公報 1994-2003

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2002-258001 A (富士ゼロックス株式会社), 2002.09.11, 2頁右欄38行-3頁左欄5行 (ファミリーなし)	1-10, 13
Y	J P 5-76599 A (オリンパス光学工業株式会社), 1993.03.30, 図5-6 (ファミリーなし)	6, 7, 10
Y	J P 2-41685 A (株式会社豊田中央研究所), 1990.02.09, 図3-4 (ファミリーなし)	6, 7
Y	J P 10-118874 A (オークマ株式会社), 1998.05.12, 図1-2 (ファミリーなし)	6

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17.02.2004

国際調査報告の発送日

02.3.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
 千馬 隆之

3V

8009

電話番号 03-3581-1101 内線 3356